

平成 28 年度厚生労働科学研究費補助金（地域医療基盤開発推進研究事業）

「新たな治療手法に対応する医療放射線防護に関する研究」

（研究代表者：細野 眞）

分担研究報告書

「放射線診断・IVR における放射線防護に関する研究」

研究分担者 赤羽 正章 NTT 東日本関東病院放射線部

研究協力者 小林 育夫 長瀬ランダウア株式会社

塚本 篤子 NTT 東日本関東病院放射線部

1. 研究目的

2011 年 4 月に国際放射線防護委員会（ICRP）が発表したソウル声明では、水晶体のしきい線量が従来考えられていたよりも低いこと、職業被ばくについて水晶体の等価線量限度を5年間の平均で20mSv/年かつ年間最大 50mSv まで引き下げること、が述べられている¹⁾。これを受けて、2012 年には ICRP Publication 118 “ICRP Statement on Tissue Reactions / Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs - Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context”が発行され²⁾、国際原子力機関や欧州連合の新しい安全基準にも、新たな水晶体等価線量限度が盛り込まれる流れとなっている。

我が国においても新たな水晶体等価線量限度を法令へ取り入れるため、実務レベルでの検討を進める必要があり、特に水晶体等価線量の高さが懸念される X 線透視を用いた治療手技の術者について、水晶体等価線量を推測する手段について基礎的データの集積が望まれている。現在、水晶体の等価線量は、頭頸部に装着した個人線量計から得られる測定値に基づき算定されているが、この算定は X 線防護メガネによる被ばく低減効果を計算に入れていないため、実態を必ずしも反映していない。防護メガネ着用時の水晶体線量実態調査が国内で進められているが、その結果を正しく解釈し、防護メガネ着用を前提とした水晶体等価線量推定に利用するためには、防護メガネの種類や線量計の位置によるばらつきの程度を知る必要がある。

昨年度までの検討で、国内で市販されている X 線防護メガネは複数存在し、ガラスの鉛当量だけでなく形状も異なるため、種類が異なれば被ばく低減効果も異なることがわかった。また、防護メガネ着用時には防護メガネ内面から水晶体にかけての線量分布が不均一となるため、水晶体線量の実測値が線量計の位置に影響されることも示唆された。しかし、昨年度までの検討は固定した頭部ファントムを用いて模擬的な透視及び撮影の線量を測定したものであり、実際の手技における医療従事者の位置や頭部角度の変動は考慮されていない。

本研究の目的は、手技の術者に線量計を取り付けた測定や、頭部ファントムの方向を変更した測定により、位置や頭部角度の変動が影響する程度を検討することである。併せて、臨床や研究において今後使用される機会が増えそうな水晶体等価線量推測用の線量計 DOSIRIS（7. 参考資料）を、ガラス線量計と比較する。また、次年度の実験に備えて、術者の下眼瞼に線量計を装着し透視手技を施行する実験の実行可能性について検討する。

2. 研究方法

2.1. 実験 1：手技中の術者の防護メガネ内外と頸部の線量

脳外科医、放射線科医、循環器内科医、ペインクリニック科医を対象として、透視手技の多い代表的な術者を選出し、線量計を取り付けた状態で 1 ヶ月間の手技を施行してもらった。防護メガネは東レ HF-350 を用いた。線量計は、DOSIRIS とガラス線量計の 2 種類を用いた。DOSIRIS は、実験 2 のファントムと同様に、専用のヘッドセットを用いて左目尻に 1 個と、この近傍の防護メガネ外面に 1 個を設置した。ガラス線量計は 2 個の DOSIRIS の表面と頸部の個人線量計（ガラスバッジ）表面の 3 箇所を設置した。

2.2. 実験 2：頭部の方向が防護メガネの被ばく低減効果に与える影響

頭部人体ファントムに防護メガネを取り付け、ガラス線量計と DOSIRIS を配置した状態で右大腿動脈経由の体幹部透視手技を模して透視および撮影を行い、頭部人体ファントムの方向を変えて線量を比較した。防護メガネは東レ HF-350 と東レ HF-400S（矯正メガネの上から装着可能な防護メガネ）の 2 種類を用いた。ガラス線量計の位置は、両眼の表面、防護メガネの左右ガラスの中央やや下の内外、防護メガネの左ガラス側面の内外、頸部正中と 5cm 左方、の 10 箇所。DOSIRIS の位置は、防護メガネの左ガラス側面の内外の 2 箇所。

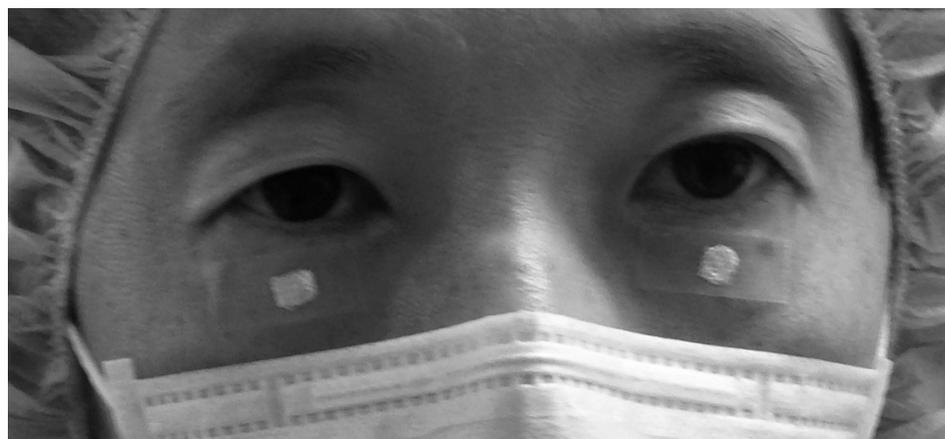


患者を模したファントムには、楕円形の JIS 水ファントムを用いた。使用装置は シーメンス社 Artis Q TA、照射条件は透視 120 秒 × 5 回 + 撮影 20 秒 × 18 回。頭部の方向は正面 ± 45 度の 3 方向。術者から見て X 線管球や患者ファントムは左側に位置する。



2.3. 実験 3：術者の下眼瞼に線量計を取り付けた線量比較実験の実行可能性評価

nanoDot 内の線量計を取り出して両側の下眼瞼にテープで貼り付けた状態で、近視用メガネの上から防護メガネ（東レ HF-400S）を装着し、肝細胞癌に対する肝動脈化学塞栓療法を施行した。



3. 結果

3.1. 実験 1

脳外科医の手技内容は、脳神経領域の血管内治療 7 件と診断血管造影 3 件であった。放射線科医の手技内容は、腹部領域の IVR6 件と透析シャント PTA1 件であった。循環器内科医の手技内容は PCI7 件、ペーシング 1 件、診断血管造影 2 件であった。ペインクリニック科医の手技内容は、ペインクリニック手技 19 件であった。

防護メガネ外面に対する内面（目尻）の線量比は表 1 の通りであった。脳外科医と放射線科医について、DOSIRIS の線量は測定限界以下であった。

表 1

	脳外科医	放射線科医	循環器内科医	ペインクリニック科医
ガラス線量計	92%	99%	95%	61%
DOSIRIS	N/A	N/A	52%	36%

ガラス線量計で測定された、頸部に対する左目尻の線量比は、表 2 の通りであった。

表 2

脳外科医	放射線科医	循環器内科医	ペインクリニック科医
85%	75%	86%	32%

頸部の個人線量計で推計された水晶体等価線量と、DOSIRIS で推計された水晶体等価線量は、表 3 の通りであった。

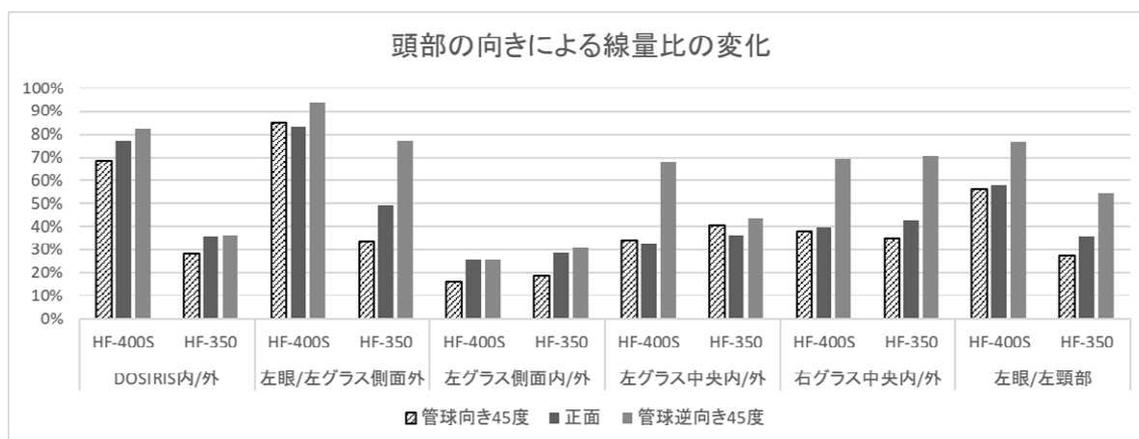
表 3

	脳外科医	放射線科医	循環器内科医	ペインクリニック科医
A:個人線量計(mGy)	0.1	0.1	0.4	0.6
B:DOSIRIS(mGy)	測定限界以下	測定限界以下	0.28	0.17
B/A 比	N/A	N/A	70%	28%

3.2. 実験 2

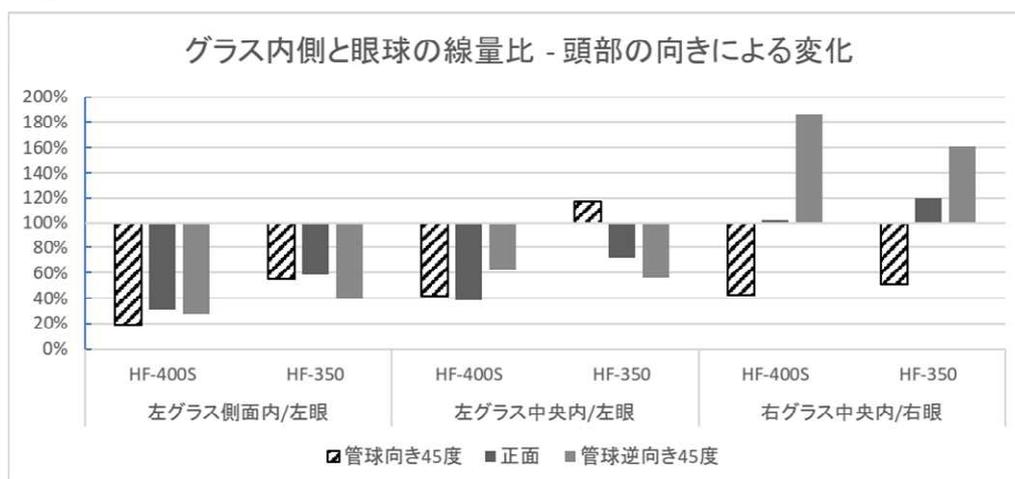
防護メガネ内外の線量比、左眼表面と左グラス側面外面の線量比、左眼表面と左頸部の線量比について、頭部ファントムの向きによる変化を下記グラフ（図 1）にまとめた。管球と逆向き側へ頭部を向けるほど線量が増える傾向にあり、管球向きと正面との差に比べて、管球逆向きと正面との差が大きかった。

図 1



眼球表面線量に対する防護メガネグラス内面線量の割合(図2)は、右で43%~186%、左で19%~117%、と線量計の取り付け位置によって大きく変動した。左ではグラス内面よりも眼球表面線量の方が概ね低い傾向にあったが、右では頭部ファントムの向きによって大きく変動し大小関係も逆転していた。

図 2



3.3. 実験 3

両側の下眼瞼に線量計を貼付した状態でも違和感なく手技を終えることができた。測定された線量は表 4 の通りで、下眼瞼の線量は右より左で高く、グラス内の線量はグラス外の倍程度と、昨年度実験結果から想定された範囲内であった。

表 4

部位	下眼瞼右	下眼瞼左	左グラス中央内	左グラス中央外	左グラス側面内	左グラス側面外	頸部
線量(mGy)	0.010	0.014	0.010	0.023	0.007	0.016	0.013

4. 考察

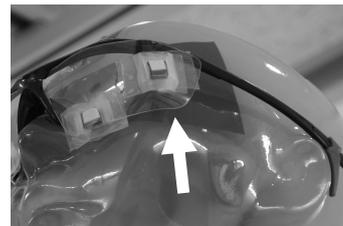
実験 1 の結果から、実臨床においては防護メガネの線量低減効果がばらつくことが見て取れる。昨年度ファントム実験では、東レ HF-350 の左グラス側面外面に対する内面の線量比は 38%、左グラス側面外面に対する左眼球表面の線量比は 57%であったが、今回は 61%~99%とすべての術者で上回り、期待ほどの線量低減効果が得られていなかった。昨年度ファントム実験にて、防護メガネの線量低減効果はガラスの鉛当量だけでは依存せず、むしろガラスと顔面との隙間の大きさが重要であることが示唆されているので、術者とファントムの頭部形状が異なるためガラスと顔面との隙間がファントムより大きくなった結果として線量低減効果が下がったのかもしれない。ペインクリニック科医は DOSIRIS 装着による違和感が強いと取り付け位置を調整しており、このことが結果に影響した可能性もある。また、昨年度ファントム実験では頭部と X 線管球との関係が 1 方向に固定されていたが、実臨床では術者の頭部が様々な方向を向くことや、術者の頭部の位置自体も手技によって異なることが影響した可能性もある。過去の報告でも、臨床における防護効果は正面からの照射における防護効果よりも低いことが知られている³⁾。実際、実験 2 の結果からは頭部の向きによる防護メガネグラス内外の線量比の変動が観察され、管球と逆向きに 45 度の状態、すなわち側方からの散乱線が増える条件で大きく線量が増加していた。ガラスと顔面との隙間から入り込む線量の変動は無視できないことがわかる。術者によって施行する手技がまったく異なるので、術者によって頭部の方向の確率分布が異なってもおかしくない。この他、線量計の方向依存性や、線量計取り付け位置のわずかな違いも、ばらつきの原因となり得る。

DOSIRIS は水晶体に比較的近い位置で線量を測定できるデバイスであり、頭頸部に装着した個人線量計よりも防護メガネの効果をもより正確に反映した水晶体等価線量を推測できる可能性がある。DOSIRIS による測定は 3mm 線量当量で算出されるため、ガラス線量計や nanoDot の測定結果と直接比較することはできず、線量比を比較することになる。実験 1 にて、DOSIRIS による水晶体等価線量と頸部個人線量計による水晶体等価線量との比率 (表 3) は、ガラス線量計による左目尻と頸部の線量比 (表 2) に概ね合致していた。しかし、DOSIRIS の取り付け位置は水晶体よりも外側であり、防護メガネによる遮蔽効果は必ずしも水晶体と同一では無い。実験 2 にて、DOSIRIS で測定した防護メガネ外面と目尻の線量比 (図 1 の DOSIRIS 内/外) と、ガラス線量計で測定した防護メガネ外面と眼球表面の線量比 (図 1 の左眼/左グラス側面外) とは、概ね一致していた。しかし、東レ HF-350 を装着した頭部ファントムを管球と逆向きに 45 度回転した状態では、DOSIRIS では 36%、ガラス線量計では 77%と乖離が観察された。このことは、DOSIRIS 取り付け位置が水晶体と異なるため、頭部の向きによっては防護メガネのデザインに起因する過大評価や過小評価が生じうることを示している。下眼瞼にも線量計を貼付できれば、目尻単独よりも下眼瞼と目尻とを組み合わせの方が、頭部の向きの影響を受けにくいかもしれない。実験 3 では次年度以降の実験に備え、下眼瞼での線量測定の実行可能性について検討し、良好な感触を得た。

実験 1 にて、ガラス線量計と DOSIRIS とで、防護メガネ内外の線量比が乖離した理由は不明で、線量計の位置がわずかに異なること以外に原因があるか否か今後の検討が必要である。

昨年の研究にて、防護メガネ内での線量不均一性は数倍に及び、メガネによって強弱の分布も逆転することが判明している。今回用いた 2 種類の防護メガネにおいては、頭部ファントムの向きの変化による影響は、管球から遠い側で顕著になる傾向が観察された。防護メガネのガラス内側に線量計を貼り付けて測定した線量を、水晶体等価線量の代用とすることは難しい。

これまでの実験を通じて、防護メガネの遮蔽効果を高めるためには顔面とレンズの隙間から入り込む散乱線を減らすことが肝要であることが示唆される。防護レンズが側面へ回り込むデザイン（右図矢印）の有効性については既に報告されており^{4,5)}、現在の市販品のほとんどは既にそのように配慮されているが、更なる理想的なデザインを追求する必要がある。



5. まとめ

本研究により、頭部方向の変動が防護メガネの被ばく低減効果に少なからず影響することが明らかとなった。実臨床における防護メガネの被ばく低減効果は、防護メガネ内面に貼付した線量計の測定結果で期待された効果より低い恐れがある。今後は、実臨床における被ばく低減効果の実測とともに、防護メガネの理想的なデザインに関する検討が必要である。

6. 参考文献

1. ICRP Statement on Tissue Reactions. <http://www.icrp.org/page.asp?id=123>
2. ICRP, 2012. ICRP Statement on Tissue Reactions / Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. ICRP Publication 118. Ann. ICRP 41(1/2).
3. van Rooijen BD, de Haan MW, Das M, et al. Efficacy of radiation safety glasses in interventional radiology. Cardiovasc Intervent Radiol. 2014 Oct;37(5):1149-55.
4. Sturchio GM, Newcomb RD, Molella R, et al. Protective eyewear selection for interventional fluoroscopy. Health Phys. 2013 Feb;104(2 Suppl 1):S11-6.
5. Magee JS, Martin CJ, Sandblom V, Carter MJ, et al. Derivation and application of dose reduction factors for protective eyewear worn in interventional radiology and cardiology. J Radiol Prot. 2014 Dec;34(4):811-23.

7. 参考資料

水晶体等価線量推測用の線量計 DOSIRIS



http://dosimetre.irsna.fr/fr-fr/Documents/Fiches%20produits/IRSN_Fiche_dosimetre_Cristallin.pdf#search=%27DOSIRIS%27